

AN: PAT 2000-107600

TI: Procedure for running IC engine driven not only by spark ignited but also self-igniting fuel, especially petrol

PN: DE19927479-A1

PD: 23.12.1999

AB: NOVELTY - A procedure for running an IC engine driven not only by spark-ignited but also self-ignited fuel, especially petrol has spark ignition and self ignition regimes assigned to the engine running regime. At least in self ignition regimes, a suitable high compression ratio is made available for self ignition of the fuel. The combustion in self ignition regimes is induced by self ignition and in spark ignition regimes, by spark ignition of the air/fuel mixture. The part load range is assigned to the self ignition regime. The full load range and/or engine running range with high engine load plus the cold starting are assigned to the spark ignition regime. In the self ignition regime, a homogeneous fuel/air mixture, at least approximately, is generated in the combustion chamber. At least in the spark ignition regime, a stratified charge is generated in the combustion chamber.; USE - None given ADVANTAGE - Improved exhaust quality with increased efficiency.

PA: (AVLV ) AVL LIST GMBH;

IN: CHMELA F; MEURER P;

FA: DE19927479-A1 23.12.1999; DE19927479-C2 11.07.2002;  
JP2000064876-A 29.02.2000; US6213086-B1 10.04.2001;

CO: DE; JP; US;

IC: F02B-001/14; F02B-009/04; F02B-011/00; F02B-023/10;  
F02B-069/06; F02D-013/02; F02D-015/00; F02D-041/02;  
F02M-025/07; F02P-013/00;

MC: X22-A02;

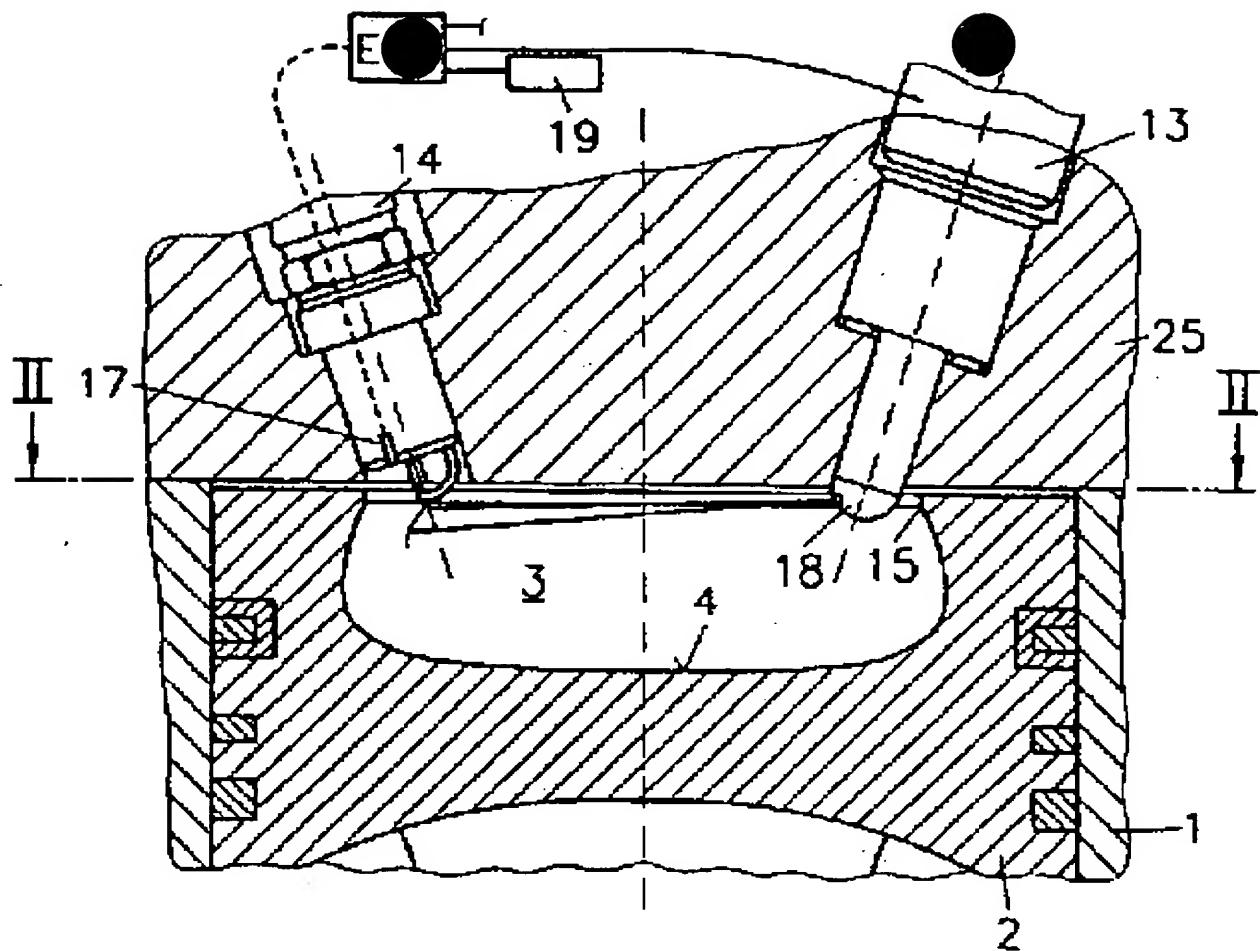
DC: Q52; Q53; Q54; X22;

FN: 2000107600.gif

PR: AT0000405 18.06.1998;

FP: 23.12.1999

UP: 24.07.2002



BEST AVAILABLE COPY



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift

(10) DE 199 27 479 A 1

(51) Int. Cl. 6:  
F 02 B 69/06

- (21) Aktenzeichen: 199 27 479.7
- (22) Anmeldetag: 16. 6. 99
- (23) Offenlegungstag: 23. 12. 99

DE 199 27 479 A 1

- (30) Unionspriorität:  
405/98 18. 06. 98 AT
- (71) Anmelder:  
AVL List GmbH, Graz, AT
- (74) Vertreter:  
Maiwald GmbH, 80335 München

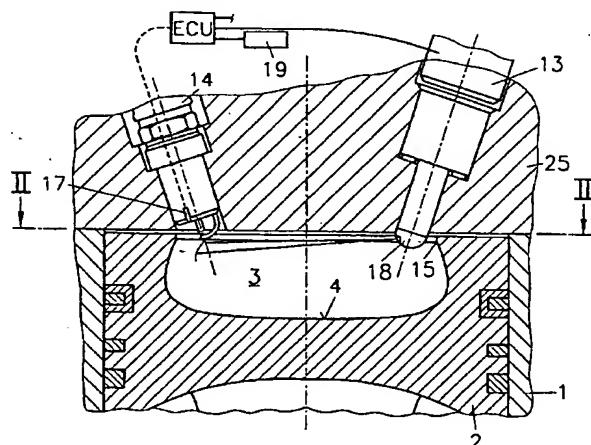
- (72) Erfinder:  
Chmela, Franz, Graz, AT; Meurer, Peter, Graz, AT

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

**(54) Verfahren zum Betrieb einer insbesondere mit Benzin betriebenen Brennkraftmaschine**

- (55) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit sowohl fremd- als auch selbstzündbarem Kraftstoff, insbesondere Benzin, betriebenen Brennkraftmaschine, wobei dem Motorbetriebsbereich Selbstzündungsbereiche (CI) und Fremdzündungsbereiche (SI) zugeordnet werden und zumindest in Selbstzündungsbereichen (CI) ein für eine Selbstzündung des Kraftstoffes geeignetes hohes Verdichtungsverhältnis bereitgestellt wird und die Verbrennung in Selbstzündungsbereichen (CI) durch Selbstzündung und in Fremdzündungsbereichen (SI) durch Fremdzündung des Kraftstoff-Luftgemisches eingeleitet wird, und wobei der Teillastbereich dem Selbstzündungsbereich (CI), der Vollastbereich und/oder Motorbetriebsbereiche mit hoher Motorlast sowie der Kaltstart dem Fremdzündungsbereich (SI) zugeordnet werden. Um bei hohem Wirkungsgrad die Abgasqualität zu verbessern, ist vorgesehen, daß im Selbstzündungsbereich (CI) ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) erzeugt wird.



DE 199 27 479 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit sowohl fremd-, als auch selbstzündbarem Kraftstoff, insbesondere Benzin, betriebenen Brennkraftmaschine, wobei dem Motorbetriebsbereich Selbstzündungs- und Fremdzündungsbereiche zugeordnet werden und zumindest in Selbstzündungsbereichen ein für eine Selbstzündung des Kraftstoffes geeignetes hohes Verdichtungsverhältnis bereitgestellt wird und die Verbrennung in Selbstzündungsbereichen durch Selbstzündung und in Fremdzündungsbereichen durch Fremdzündung des Kraftstoff-Luftgemisches eingeleitet wird, und wobei der Teillastbereich dem Selbstzündungsbereich, der Vollastbereich und/oder Motorbetriebsbereiche mit hoher Motorlast sowie der Kaltstart dem Fremdzündungsbereich zugeordnet werden.

Aus der Veröffentlichung "Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) of Diesel Fuel", Allen W. Gray et al., SAE 971676, ist es bekannt, daß bei der Verbrennung eines durch Selbstzündung entflammt mageren Kraftstoff-Luftgemisches wegen der homogenen Konzentrations- und Temperaturverteilung äußerst niedrige Emissionswerte für NO<sub>x</sub> und Ruß erzielt werden. Dieses Verfahren wird im englischen Sprachraum als HCCI-Verfahren (Homogeneous Charge Compression Ignition) bezeichnet. Weiters ist bekannt, daß Dieselkraftstoff bei diesem Verbrennungsverfahren Schwierigkeiten bereitet, da der Zeitpunkt der Entflammung wegen seiner hohen Zündwilligkeit nur bei niedrigem Verdichtungsverhältnis und niedrigem effektivem Mitteldruck in erwünschter Weise kurz vor dem oberen Totpunkt fixiert werden kann. Das erforderliche niedrige Verdichtungsverhältnis von etwa 10 führt zu erheblichen Nachteilen hinsichtlich des spezifischen Kraftstoffverbrauches und der erreichbaren Leistungsausbeute gegenüber dem konventionellen Dieserverfahren, die die breite Nutzung dieses an sich sehr emissionsgünstigen Verbrennungsverfahren bisher verhindert haben. Als weitere dieselkraftstoffspezifische Schwierigkeit ist die für die Verdampfung und damit für die Homogenisierung der Zylinderladung hinderliche Lage des Siedebereichs zwischen etwa 170 bis 360°C anzusehen, die zu hohen Emissionen von NO<sub>x</sub>, Ruß und unverbrannten Kohlenwasserstoffen führen kann und die Gefahr der Anreicherung von Dieselkraftstoff im Schmieröl mit sich bringt.

Benzin hat für das HCCI-Verfahren wegen seiner sehr niedrigen Selbstzündungswilligkeit und des niedriger liegenden Siedebereiches zwischen etwa 30 und 190°C große Vorteile. Das Verdichtungsverhältnis kann hier, ähnlich wie beim Dieselmotor, auf Werte von etwa 15 bis 17 angehoben werden. Allerdings ist auch hier der erreichbare effektive Mitteldruck in nachteiliger Weise auf den Teillastbereich beschränkt, wie aus der Veröffentlichung "An Experimental Study on Premixed-Charge Compression Ignition Gasoline Engine", Taro Aoyama et al., SAE 960081, hervorgeht.

Weiters ist aus der DE 36 32 579 C2 eine fremdgezündete, luftverdichtende, mit dieselmotorähnlich hohem Verdichtungsverhältnis arbeitende Brennkraftmaschine bekannt, bei der zur Sicherstellung der Entflammung des Luft-Kraftstoffgemisches eine Ladungsschichtung erzeugt wird. Dieses Schichtlade-Brennverfahren kann auch als SCSI-Verfahren (Stratified Charge Spark Ignition) bezeichnet werden. Mit dem Schichtladeprinzip wird erreicht, daß die Gemischzusammensetzung im Bereich der Zündquelle während des Funkenüberschlages lange genug innerhalb der Zündgrenzen liegt, um eine für das Weiterbrennen der Zylinderladung ausreichend große Flamme zu erzeugen. Ein derartiges Schichtlade-Brennverfahren mit Fremdzündung ist allerdings im Teillastbereich nicht so emissionsgünstig wie das HCCI-Verfahren, kann aber mit sehr viel höheren

Mitteldrücken betrieben werden und ist bezüglich der Rußemission besser als der Dieselmotor.

Aus der DE 28 51 504 A1 ist ein Verfahren der eingangs genannten Art zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit variabilem Verdichtungsverhältnis bekannt, wobei die Brennkraftmaschine mit einer Kraftstoffsorte fremdgezündet und selbstgezündet betrieben wird. Bei dieser Brennkraftmaschine wird im Teillastbereich das Verdichtungsverhältnis zur Durchführung einer Selbstzündung vergrößert und im Vollastbereich für einen Fremdzündungsbetrieb verkleinert. Über eine in den Hauptbrennraum oder in eine Vor- kammer mündende Einspritzdüse wird Kraftstoff für den Dieselbetrieb zugeführt, wodurch ein inhomogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum entsteht. Es liegt somit kein HCCI-Betrieb vor. Die Zuführung des Kraftstoffes für den Fremdzündungsbetrieb erfolgt in einer Ausführung über einen Vergaser und in einer anderen Ausführung über eine in einen Nebenbrennraum mündende weitere Einspritzdüse. Die Verbrennung wird im Fremdzündungsbetrieb über eine in den Nebenbrennraum mündende Zündkerze eingeleitet. Bei Fremdzündung mit Kraftstoffeinspritzung und Luftsaugung im Vollastbetrieb liegt eine Ladungskonzentration im Nebenbrennraum relativ zum Hauptbrennraum vor. Das bekannte Verfahren erlaubt ein stabiles Betriebsverhalten und einen guten Wirkungsgrad. Die vom HCCI-Verfahren bekannten extrem niedrigen Emissionswerte können aber nicht erreicht werden.

Auch die US 4 126 106 A beschreibt eine Brennkraftmaschine, die sowohl nach dem Otto-, als auch nach dem Dieserverfahren betreibbar ist. Dabei wird während der Startphase und des Teillastbetriebes unter direkter Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum eine Schichtladung erzeugt und die Verbrennung durch Fremdzündung dieser geschichteten Ladung eingeleitet. Bei Vollast hingegen wird der Kraftstoff direkt in den Brennraum gegen die heißen Brennraumwände gespritzt, wobei der Kraftstoff verdampft und die Zündung durch Kompression nach dem Dieserverfahren erfolgt. Der Motor wird dabei bei einem Verdichtungsverhältnis von weniger als 16 : 1 betrieben. Bei höherer Motorlast reicht allerdings die Zeit zwischen Einspritzbeginn und dem Zeitpunkt der Selbstzündung für eine gute Gemischaufbereitung nicht mehr aus, weshalb es zu einer Verschlechterung des Verbrennungsablaufes und der Emissionen kommt.

Ferner ist aus der US 3 125 079 A eine Vielzweck-Brennkraftmaschine bekannt, welche sowohl selbstzündend, als auch fremdzündend mit einem festen Verdichtungsverhältnis von 15 : 1 betreibbar ist. Der Kraftstoff wird dabei über eine Vielstrahl-Einspritzdüse direkt radial in den Brennraum eingespritzt. Dies ist zur Erzeugung eines hohen Ladungsschichtungsgrades nicht geeignet.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, die genannten Nachteile zu vermeiden und bei einer Brennkraftmaschine für fremd- und selbstzündbarem Kraftstoff die Abgasqualität bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad zu verbessern.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß im Selbstzündungsbereich ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum erzeugt wird. Das erfundungsgemäße Verfahren weist somit alle Vorteile des HCCI-Verfahrens auf und vermeidet durch die Um schaltung auf Fremdzündung dessen Nachteile bei hoher Motorlast. Auch in zumindest einem Fremdzündungsbereich kann ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum erzeugt werden. Das homogene Kraftstoff-Luftgemisch kann stöchiometrisch oder mager sein. Besonders niedrige Kraftstoffverbräuche und geringe Emissionen lassen sich allerdings erreichen, wenn in Fremdzündungsbereichen eine Schichtladung im Brennraum erzeugt wird. Das erfundungsgemäße Verfahren vereinigt somit die Vorteile

des HCCI-Verfahrens mit dem SCSI-Verfahrens.

Bei höherer Motorlast würde beim HCCI-Verfahren die Zeit zwischen Einspritzbeginn und dem Zeitpunkt der Selbstzündung für eine gute Gemischaufbereitung nicht mehr ausreichen, weshalb es bei Selbstzündung zu einer Verschlechterung des Verbrennungsgeschehens und der Emissionen kommen würde. Da im Vollastbereich und/oder in Motorbetriebsbereichen mit hoher Motorlast eine Fremdzündung erfolgt, werden diese Nachteile vermieden. Es können somit sowohl im Teillast-, als auch im Vollastbereich die Emissionen deutlich verbessert werden.

Obwohl das SCSI-Verfahren zwar nicht genauso emissionsgünstig ist wie das HCCI-Verfahren, bietet es jedoch hinsichtlich der Emissionsbildung die zwei folgenden Vorteile gegenüber dem DI-Verfahren (direct injection) eines konventionellen Dieselmotors. Zum einen ist die Rußbildungsnegierung von Benzin hauptsächlich wegen der kleineren Molekülgröße und des damit zusammenhängenden höheren, die Gemischbildung begünstigenden, Dampfdruckes deutlich kleiner, als bei Dieselkraftstoff. Zum anderen bietet das Verfahrensmerkmal der Fremdzündung gegenüber dem Dieselmotor den zusätzlichen Freiheitsgrad, die Zeitspanne zwischen Einspritzbeginn und Entflammung durch die Wahl des Abstandes zwischen Einspritzbeginn und Zündzeitpunkt stark vergrößern zu können, womit die für die Gemischaufbereitung zur Verfügung stehende Zeit deutlich verlängert wird.

In Motorbetriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum kann die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches vorteilhafterweise durch äußere Gemischbildung, vorzugsweise durch Einspritzung des Kraftstoffes in ein Saugrohr erfolgen. In Motorbetriebsbereichen mit Schichtladung im Brennraum wird der Kraftstoff dagegen direkt immer in den Brennraum eingespritzt.

Die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches im Selbstzündungsbereich kann aber auch durch direkte Einspritzung des Kraftstoffes in den Brennraum erfolgen. Dazu kann die Einspritzeinrichtung mit veränderbarer Einspritzcharakteristik ausgeführt sein. Eine veränderbare Einspritzcharakteristik kann mit hubvariablen Einspritzdüsen oder mit Doppelnadeleinspritzdüsen erreicht werden. Eine Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches kann auch durch unterschiedliche Einspritzdrücke der direkteinspritzenden Einspritzeinrichtung realisiert werden. Dabei ist vorgesehen, daß der Einspritzdruck zwischen zumindest zwei Druckniveaus in Abhängigkeit des Motorbetriebes variiert wird, wobei die Kraftstoffeinspritzeinrichtung im Teillastbereich mit höherem Einspritzdruck als im Vollastbereich erfolgt. Um die Gemischbildung auch über die Strahlqualität definiert steuern zu können, kann eine luftunterstützte Einspritzeinrichtung von Vorteil sein.

Das Umschalten zwischen Selbst- und Fremdzündung wird in Abhängigkeit des effektiven Mitteldruckes des Arbeitsprozesses bei einem vorbestimmten Grenzwert des effektiven Mitteldruckes durchgeführt. Dabei liegt unterhalb dieses Grenzwertes der Selbstzündungsbereich und oberhalb dieses Grenzwertes der Fremdzündungsbereich. Der Grenzwert wird in einem Bereich des effektiven Mitteldruckes, in dem der indizierte Mitteldruck zwischen etwa 4 bis 9 bar, vorzugsweise etwa 6 bis 9 bar, besonders vorzugsweise etwa 7 bis 8,5 bar beträgt, definiert, wobei vorzugsweise die Druckanstiegs geschwindigkeit des Zylinderdruckes  $p$  kleiner gleich 5 bar pro Grad Kurbelwinkel  $\varphi$  ist.

Zur Durchführung des Verfahrens eignet sich eine Brennkraftmaschine mit einem Kolbenbrennraum pro Zylinder, in welchem mindestens eine Einspritzeinrichtung zur direkten Einspritzung des Kraftstoffes und eine Zündeinrichtung einmündet, welche in Abhängigkeit des Motorbetriebsberei-

ches aktivierbar- bzw. deaktivierbar ist. Die Brennkraftmaschine weist weiters eine vorzugsweise durch eine Saugrohreinspritzseinrichtung gebildete äußere Gemischbildungseinrichtung auf, mit welcher während des selbstgezündeten Motorbetriebes ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum erzeugbar ist, hat ein Verdichtungsverhältnis zwischen 15 : 1 und 20 : 1, vorzugsweise zwischen 17 : 1 und 18 : 1, und weist zur Umschaltung zwischen Selbstzündung und Fremdzündung eine die aktuellen Motorbetriebsparameter für den jeweiligen Motorbetriebsbereich erfassende Steuereinrichtung auf. Der Brennraum jedes Zylinders ist zumindest überwiegend durch eine Kolbenmulde gebildet. Pro Zylinder ist weiters mindestens ein Einlaßkanal drallerzeugend ausgebildet. Durch Steuerung der Kraftstoffeinspritzung und/oder der Einlaßströmung ist wahlweise ein homogenes oder geschichtetes Kraftstoff-Luftgemisch erzeugbar. Die Brennkraftmaschine muß somit alle notwendigen Einrichtungen aufweisen, um bei Teillast nach dem HCCI-Verfahren und im höheren Lastbereich nach dem SCSI-Verfahren arbeiten zu können.

Für eine gute Strahlauslösung bei Teillast ist es dabei vorteilhaft, wenn die Düse der Einspritzeinrichtung eine Ein- oder Zweistrahdüse mit guter Strahlauslösung (eventuell mit Luftunterstützung) ist. Im Falle der Direkteinspritzung ist die Richtung des Einspritzstrahles der Einspritzeinrichtung dabei vorzugsweise für das SCSI-Verfahren optimiert, d. h., daß der Strahlauf treffpunkt im oberen Totpunkt des Kurbels an der Peripherie einer eingezogenen, rotationskörpermöglichen Kolbenmulde liegt.

Der oder die im Zylinderkopf angeordneten Einlaßkanäle sollten mit einer relativ hohen Einlaßdrallzahl, also einer Drallzahl größer als 2, ausgeführt sein. Eine als Hochspannungs-Funkzündung arbeitende Zündeinrichtung ist zur sicheren Entzündung des Kraftstoffes vorteilhaft.

Weiters ist es für die Fremdzündung im Vollastbereich vorteilhaft, wenn die Zündeinrichtung und/oder die Einspritzeinrichtung an der Brennraumperipherie angeordnet sind, wobei vorzugsweise die die Durchstoßpunkte der Achsen der Zündeinrichtung und der Einspritzeinrichtung durch das Feuerdeck des Zylinderkopfes, von der Zylinderachse aus gesehen, einen Zentriwinkel um die Zylinderachse von etwa 90° bis 200°, vorzugsweise etwa 120°, aufweisen, wobei die Zündeinrichtung in Drallrichtung um diesen Winkel stromabwärts angeordnet ist.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, daß zumindest ein Entflammungsdetektor in den Brennraum mündet und die Kraftstoffeinspritzung sowie die Mengen-Temperaturregelung eines Abgasrückföhlersystems zumindest im Teillastbereich in Abhängigkeit des Entflammungszeitpunktes des Kraftstoff-Luftgemisches erfolgt. Dadurch kann im HCCI-Betrieb der Einspritzzeitpunkt optimal festgelegt werden. Bei einem gekühlten Abgasrückföhlersystem mit regelbarer Temperatur wird bei Teillast eine höhere Temperatur des rückgeführten Abgases eingestellt, als bei Vollast.

Da es vorteilhaft sein kann, im Teillastbereich ein höheres Verdichtungsverhältnis einzustellen zu können als im Vollastbereich, kann weiters eine Einrichtung zur Veränderung des realen Kompressionsverhältnisses vorgesehen sein, wobei vorzugsweise die Einrichtung zur Veränderung des Verdichtungsverhältnisses durch eine variable Ventilsteuereinrichtung gebildet ist, mit welcher der Schließzeitpunkt des zumindest einen Einlaßventiles veränderbar ist. Um die Menge des Restgases im Sinne einer inneren Abgasrückführung zur Anhebung der Ladungstemperatur im Teillastbereich steuern zu können, kann weiters vorgesehen sein, daß durch die variable Ventilsteuereinrichtung die Steuerzeit zumindest eines Auslaßventiles in Abhängigkeit von

Motorbetriebsparametern verändert werden ist.

In einer besonders einfachen Ausführungsvariante ist daher im Rahmen der Erfindung vorgesehen, daß das Kompressionsverhältnis unveränderlich ist. Das feste Kompressionsverhältnis ergibt sich zweckmäßigerweise durch Optimierung für Selbstzündungs- und Fremdzündungsanforderungen.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Brennkraftmaschine ein Abgasrückführsystem zur inneren und/oder äußeren Abgasrückführung aufweist. Während des Motorbetriebes mit Selbstzündung kann die Abgasrückführung zur Steuerung des Zündverzuges bzw. des Verbrennungszeitpunktes eingesetzt werden. Die Abgasrückführung während des Fremdzündungsbetriebes dient dagegen in bekannter Weise zur Verringerung der NO<sub>x</sub> Emissionen durch Absenkung der Verbrennungstemperatur.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 einen Längsschnitt durch die erfundungsgemäße Brennkraftmaschine gemäß Linie I-I in Fig. 2,

Fig. 2 eine Draufsicht auf einen Zylinder gemäß Linie II-II in Fig. 1 und

Fig. 3 ein Diagramm, in welchem der mittlere effektive Druck über der Drehzahl aufgetragen ist.

In Fig. 2 sind zusätzlich im Zylinderkopf angeordnete erfundungswesentliche Elemente strichiert dargestellt.

In der Fig. 1 ist der im Zylinder 1 hin- und hergehende Kolben 2 in seiner oberen Totpunktage dargestellt. Der Kolben 2 weist eine einen Brennraum 3 bildende Kolbenmulde 4 auf. Im Zylinderkopf 25 sind Einlaßkanäle 6, 7 angeordnet, von denen zumindest ein Einlaßkanal 6 drallergzeugend ausgebildet ist, wie in Fig. 2 durch strichlierte Linien angedeutet ist. Jeder der Einlaßkanäle 5, 6 führt zu einem Einlaßventil 7, 8. Im Zylinderkopf sind weiters Auslaßkanäle 9, 10 angeordnet, welche über Auslaßventile 11, 12 in den Brennraum 3 münden.

Im Zylinderkopf 25 ist eine Einspritzeinrichtung 13 zur direkten Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum 3 sowie eine Zündeinrichtung bildende Hochspannungszündkerze 14 vorgesehen, wobei sowohl die Einspritzeinrichtung 13, als auch die Zündkerze 14 im Bereich des Randes 15 der eingezogenen, rotationskörperförmigen Kolbenmulde 4 angeordnet sind.

Die Düse 18 der Einspritzeinrichtung 13 weist eine Ein- oder Zweistrahl Düse mit guter Strahlauslösung und einen nicht weiter dargestellten Luftanschluß zur Luftunterstützung auf. Die Einspritzeinrichtung 13 ist mit einem ebenfalls nicht weiter dargestellten Einspritzsystem verbunden, mit dem sich mindestens zwei verschiedene Druckniveaus realisieren lassen.

Die Durchstoßpunkte der Achse 14a der Zündkerze 14 und der Achse 13a der Einspritzeinrichtung 13 durch das Feuerdeck des Zylinderkopfes weisen – im Grundriß betrachtet – einen Zentriwinkel  $\alpha$  zueinander von etwa 90° bis 200°, vorzugsweise 120° auf. Dabei ist die Zündkerze in Drallrichtung um diesen Winkel stromabwärts angeordnet.

Zumindest einer der Einlaßkanäle 5, 6 ist mit einem Abgasrückführsystem 16 mit einem Abgassteuerorgan 16a verbunden, mit welchem Abgas in die Einlaßströmung eingebracht werden kann.

Zur Erfassung des Entflammungszeitpunktes ist ein geeigneter Sensor 17 vorgesehen, welcher beispielsweise in die Zündkerze 14 integriert werden kann. Der Sensor 17 ist mit einer elektronischen Steuereinheit ECU verbunden, welche in Abhängigkeit des Entflammungszeitpunktes den Einspritzzeitpunkt der Einspritzeinrichtung 13 sowie die Temperatur und die Abgasrückführmenge des Abgasrückführsystems 16 steuert.

Zumindest in einem der beiden Einlaßkanäle 5, 6 ist ein Einlaßsteuerorgan 5a bzw. 6a angeordnet, um den Drall im Brennraum 3 verändern zu können.

Die Brennkraftmaschine weist weiters eine variable Ventilsteuerungseinrichtung 19 für die Einlaßventile 7, 8 und die Auslaßventile 11, 12 auf, mit welchem der Schließzeitpunkt zumindest eines Einlaßventiles 7, 8 und den Öffnungs- und/oder Schließzeitpunkt mindestens eines Auslaßventiles 11, 12 verändert werden kann. Die variable Ventilsteuerungseinrichtung 19 kann durch eine bekannte elektrische, hydraulische, pneumatische oder mechanische Ventilsteuerungsvorrichtung zur Veränderung der Steuerzeit gebildet sein. Die Ventilsteuerung erfolgt ebenfalls über die elektronische Steuereinheit ECU.

Die Brennkraftmaschine wird in der Kaltstartphase mit homogenem Gemisch mit Fremdzündung betrieben. Bei betriebswärmer Brennkraftmaschine wird im Teillastbereich das Kompressionsverhältnis auf einen für die Selbstzündung des Benzins erforderlichen Wert von 14 : 1 bis etwa 18 : 1 angehoben. In diesem Betriebszustand wird der Kraftstoff der Einspritzeinrichtung 13 unter relativ hohem Druck zugeführt. Durch die Düse 18 der Einspritzeinrichtung 13 wird eine gute Strahlauslösung des Kraftstoffstrahles erreicht. Die Abgasrückführung über das Abgasrückführsystem 16 erfolgt nun bei relativ hoher Temperatur, um sehr rasch die Selbstzündungstemperatur des Kraftstoffes kurz vor dem oberen Totpunkt zu erreichen. Der Einspritzzeitpunkt der Einspritzeinrichtung 13 wird über die Steuereinheit ECU in Abhängigkeit des Entflammungszeitpunktes, welcher über die Entflammungserfassungseinrichtung 17 erfaßt wird, eingestellt. Eine besonders gute Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches während des Selbstzündungsbereiches CI läßt sich auch durch eine bekannte äußere Gemischbildungseinrichtung, wie beispielsweise eine in Fig. 2 strichliert angedeutete Saugrohreinspritzeinrichtung 26 oder einen Vergaser erreichen. Dadurch wird das Gemisch noch außerhalb des Brennraumes 3 aufbereitet und homogenisiert. Der Öffnungsbeginn der Einlaßventile 7, 8 wird so gesteuert, daß ein relativ hohes Verdichtungsverhältnis erreicht

werden kann. Zur Anhebung der Ladungstemperatur können darüberhinaus die Steuerzeiten der Auslaßventile 11, 12 verändert werden, um eine innere Abgasrückführung zu erreichen.

Mit steigender Last verschiebt sich allerdings der Zeitpunkt der Entflammung in Richtung früh, was sich nachteilig auf den Verbrennungsablauf und damit auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch und die Leistungsausbeute auswirken kann. Im höheren Lastbereich wird deshalb die Brennkraftmaschine nicht mehr nach dem HCCI-Verfahren, sondern – wie während der Kaltstartphase – nach dem SCS-Verfahren betrieben. Dabei wird die Zündeinrichtung 14 wieder über die Steuereinheit ECU aktiviert, die Einspritzeinrichtung 13 durch das nicht weiter dargestellte Einspritzsystem unter relativ niedrigem Druck mit Kraftstoff angepeist, der Einlaßströmung gekühltes Abgas zugeführt und das Kompressionsverhältnis durch Verstellung der Ventilsteuerung abgesenkt. Bei der Einspritzung im Fremdzündungsbereich SI wird der Kraftstoff an der Wand des Brennraumes 3 angelagert. Durch Verdampfung des Kraftstoffes an der Wand des Brennraumes 3 kommt es zu einer wandnahen Gemischbildung und somit einer Ladungsschichtung im Brennraum 3. Da im Fremdzündungsbereich SI keine Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches erforderlich ist, kann der Einspritzzeitpunkt relativ spät im Vergleich zum Einspritzzeitpunkt im Selbstzündungsbereich CI eingestellt werden. Die Umschaltung zwischen Selbstzündungsbetrieb und Fremdzündungsbetrieb erfolgt vorteilhafterweise in Abhängigkeit des effektiven Mitteldruckes  $p_e$ , wie

in Fig. 3 veranschaulicht ist. In Fig. 3 ist dabei der effektive Mitteldruck  $p_e$  über der Motordrehzahl  $n$  aufgetragen. Unter einem vordefinierten Grenzwert  $p_{eo}$ , des effektiven Mitteldruckes  $p_e$ , bei dem der indizierte Mitteldruck zwischen 4 bis 9 bar, vorzugsweise 6 bis 9 bar, besonders vorzugsweise 7 bis 8,5 bar, liegt, befindet sich dabei der Selbstzündungsbereich CI und oberhalb des Grenzwertes  $p_{eo}$  der Fremdzündungsbereich SI. Die Druckanstiegs geschwindigkeit  $dp/d\phi$  des Zylinderdruckes  $p$  über dem Kurbelwinkel  $\phi$  ist dabei aus Geräuschgründen kleiner oder gleich 5 bar pro Grad Kurbelwinkel  $\phi$ . Das Motormanagementsystem stützt sich auf die berechnete Einspritzmenge als Kontrollgröße.

Mittels innerer Abgasrückführung (Abgasrückhaltung) oder äußerer Abgasrückführung kann der Zündverzug bzw. der Verbrennungszeitpunkt während des Selbstzündungsbereiches CI gesteuert werden. Dabei werden relativ hohe Abgasanteile in der Zylinderladung bis über 50% verwendet. Innerhalb des Fremdzündungsbereiches SI dient die Abgasrückführung in bekannter Weise zur Absenkung der Stickoxidemissionen.

Bei der beschriebenen Brennkraftmaschine und dem erläuterten Verfahren wird nur einziger Kraftstofftyp verwendet, welcher neben Benzin auch ein Gas oder ein Alkohol bzw. ein Gemisch dieser Komponenten davon sein kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer mit sowohl fremd-, als auch selbstzündbarem Kraftstoff, insbesondere Benzin, betriebenen Brennkraftmaschine, wobei dem Motorbetriebsbereich Selbstzündung- (CI) und Fremdzündungsbereiche (SI) zugeordnet werden und zumindest in Selbstzündungsbereichen (CI) ein für eine Selbstzündung des Kraftstoffes geeignetes hohes Verdichtungsverhältnis bereitgestellt wird und die Verbrennung in Selbstzündungsbereichen (CI) durch Selbstzündung und in Fremdzündungsbereichen (SI) durch Fremdzündung des Kraftstoff-Luftgemisches eingeleitet wird, und wobei der Teillastbereich dem Selbstzündungsbereich (CI), der Vollastbereich und/oder Motorbetriebsbereiche mit hoher Motorlast sowie der Kalstart dem Fremdzündungsbereich (SI) zugeordnet werden, dadurch gekennzeichnet, daß im Selbstzündungsbereich (CI) ein zumindest annähernd homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest in einem Fremdzündungsbereich (SI) eine Schichtladung im Brennraum (3) erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in zumindest einem Fremdzündungsbereich (SI) ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in Motorbetriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches durch äußere Gemischbildung, vorzugsweise durch Einspritzung des Kraftstoffes in ein Saugrohr, erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in Motorbetriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) die Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches durch innere Gemischbildung erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in Motorbetriebsbereichen

mit Schichtladung im Brennraum der Kraftstoff direkt in den Brennraum eingespritzt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß in Betriebsbereichen mit homogenem Kraftstoff-Luftgemisch mit höherem Druck eingespritzt wird als in Betriebsbereichen mit Schichtladung im Brennraum.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Umschalten zwischen Selbst- und Fremdzündung bei einem vorbestimmten Grenzwert ( $p_{eo}$ ) des indizierten effektiven Mitteldruckes ( $p_e$ ) durchgeführt wird, unterhalb dessen der Selbstzündungsbereich (CI) und oberhalb dessen der Fremdzündungsbereich (SI) liegt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Grenzwert ( $p_{eo}$ ) in einem Bereich des effektiven Mitteldruckes ( $p_e$ ) definiert wird, in dem der indizierte Mitteldruck zwischen etwa 4 bis 9 bar, vorzugsweise zwischen etwa 6 bis 9 bar, besonders vorzugsweise zwischen etwa 7 bis 8,5 bar liegt, wobei vorzugsweise die Druckanstiegs geschwindigkeit des Zylinderdruckes ( $p$ ) kleiner gleich 5 bar pro Kurbelwinkel ( $\phi$ ) ist.

10. Brennkraftmaschine zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, welche bei Teillast selbstgezündet und bei Vollast und/oder hoher Motorlast und bei Kaltstart fremdgezündet betreibbar ist, mit einem Brennraum (3) pro Zylinder (1), in welchen mindestens eine Einspritzeinrichtung (13) zur direkten Einspritzung des Kraftstoffes und eine Zündeinrichtung (14) einmündet, welche in Abhängigkeit des Motorbetriebsbereiches aktivier- bzw. deaktivierbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß während des selbstgezündeten Motorbetriebes ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch im Brennraum (3) erzeugbar ist, daß das reale Kompressionsverhältnis zwischen 15 : 1 und 20 : 1, vorzugsweise zwischen 17 : 1 und 18 : 1 beträgt, und daß zur Umschaltung zwischen Selbstzündung und Fremdzündung eine die aktuellen Motorbetriebsparameter für den jeweiligen Motorbetriebsbereich erfassende Steuereinrichtung (ECU) vorgesehen ist, wobei der Brennraum (3) zumindest überwiegend durch eine Kolbenmulde (4) gebildet und pro Zylinder mindestens ein Einlaßkanal (5) drallerzeugend ausgebildet ist.

11. Brennkraftmaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß durch Steuerung der Kraftstoffeinspritzung und/oder der Einlaßströmung wahlweise ein homogenes Kraftstoff-Luftgemisch bei selbstgezündetem Betrieb oder ein geschichtetes Kraftstoff-Luftgemisch bei fremdgezündetem Betrieb erzeugbar ist.

12. Brennkraftmaschine nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das homogene Kraftstoff-Luftgemisch durch eine äußere Gemischbildungseinrichtung erzeugbar ist.

13. Brennkraftmaschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Gemischbildungseinrichtung durch eine Saugrohreinspritzeinrichtung (26) gebildet ist.

14. Brennkraftmaschine nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das homogene Kraftstoff-Luftgemisch durch eine innere Gemischbildungseinrichtung erzeugbar ist.

15. Brennkraftmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Gemischbildungseinrichtung durch die Einspritzeinrichtung (13) zur direkten Einspritzung des Kraftstoffes gebildet ist.

16. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (18) der Einspritzeinrichtung (13) eine Ein- oder Zweistrahldüse ist.

17. Brennkraftmaschine nach Anspruch 15, dadurch 5 gekennzeichnet, daß die Einspritzeinrichtung (13) eine veränderbare Einspritzcharakteristik aufweist.

18. Brennkraftmaschine nach Anspruch 17, dadurch 10 gekennzeichnet, daß die Einspritzeinrichtung (13) durch eine Doppelnadeleinspritzdüse gebildet ist.

19. Brennkraftmaschine nach Anspruch 17, dadurch 15 gekennzeichnet, daß die Einspritzeinrichtung (13) durch eine Einspritzdüse mit variablem Nadelhub gebildet ist.

20. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 19, dadurch 20 gekennzeichnet, daß die Zündeinrichtung (14) und die Einspritzeinrichtung (13) an der Brennraumperipherie (15) angeordnet sind, wobei vorzugsweise die Durchstoßpunkte der Achsen der Zündeinrichtung (14) und der Einspritzeinrichtung (13) durch das Feuerdeck des Zylinderkopfes, von der Zylinderachse aus gesehen, einen Zentriwinkel ( $\alpha$ ) um die Zylinderachse von etwa  $90^\circ$  bis  $200^\circ$ , vorzugsweise 25  $120^\circ$ , aufweisen, wobei die Zündeinrichtung (14) in Drallrichtung um diesen Winkel ( $\alpha$ ) stromabwärts angeordnet ist.

21. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 20, dadurch 30 gekennzeichnet, daß zumindest ein Entflammungsdetektor (17) in den Brennraum (3) mündet und die Kraftstoffeinspritzung zumindest im Teillastbereich und vorzugsweise die Mengen- und/oder Temperaturregelung eines Abgasrückführsystems in Abhängigkeit des Entflammungszeitpunktes des Kraftstoff-Luftgemisches erfolgt.

22. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 21, dadurch 35 gekennzeichnet, daß eine Einrichtung zur Veränderung des realen Kompressionsverhältnisses vorgesehen ist.

23. Brennkraftmaschine nach Anspruch 22, dadurch 40 gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Veränderung des realen Kompressionsverhältnisses durch eine variable Ventilsteuereinrichtung (19) gebildet ist, mit welcher, vorzugsweise der Schließzeitpunkt zumindest eines Einlaßventiles (7, 8) veränderbar ist.

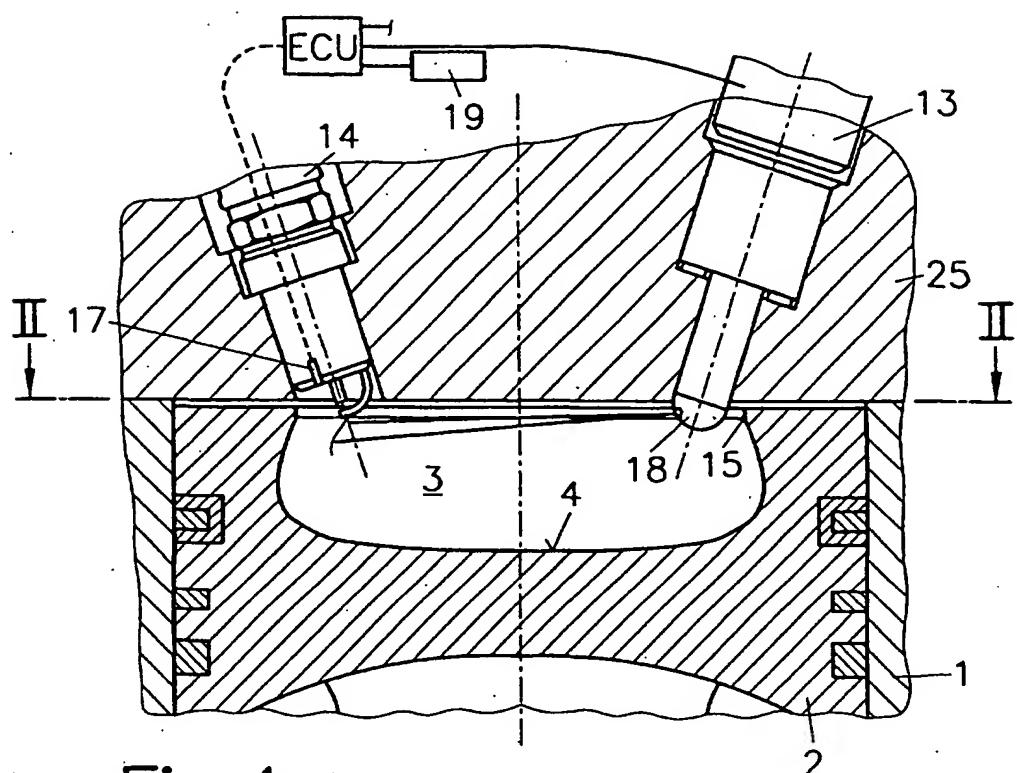
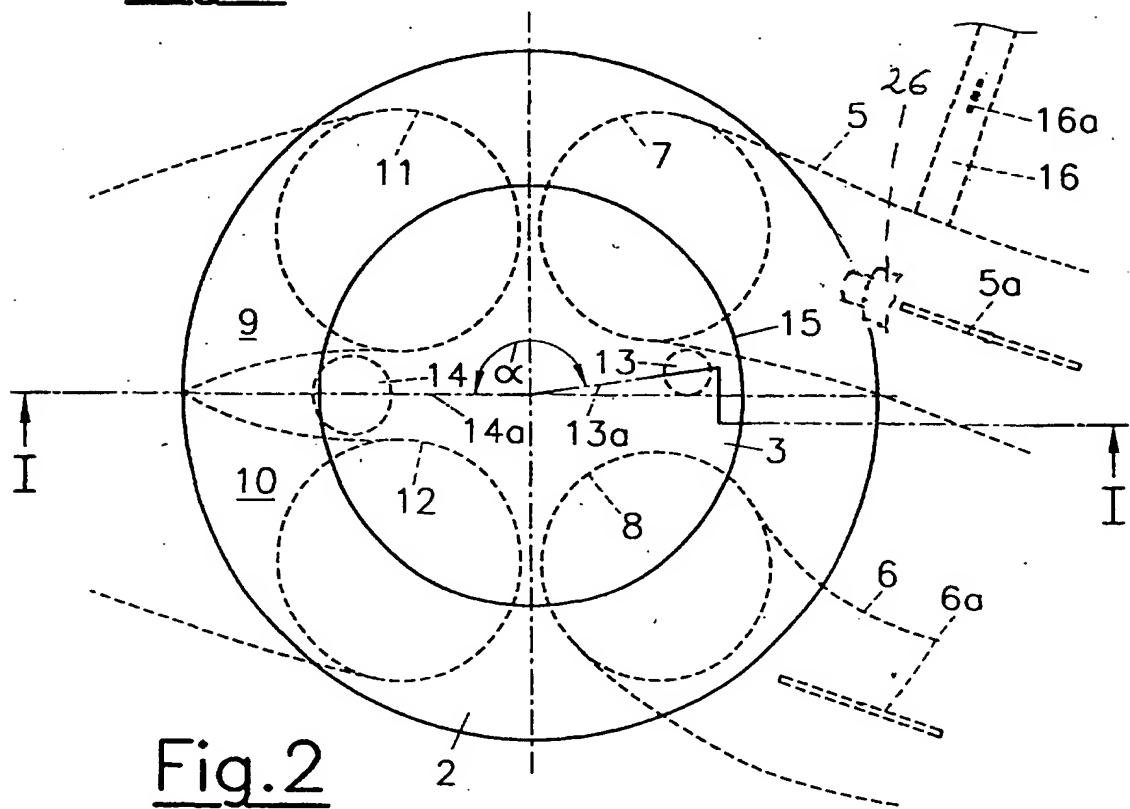
24. Brennkraftmaschine nach Anspruch 23, dadurch 45 gekennzeichnet, daß durch die variable Ventilsteuereinrichtung (19) die Steuerzeit zumindest eines Auslaßventiles (11, 12) in Abhängigkeit von Motorbetriebsparametern veränderbar ist.

25. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 21; dadurch 50 gekennzeichnet, daß das reale Kompressionsverhältnis unveränderlich ist.

26. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 25, dadurch 55 gekennzeichnet, daß die Einspritzeinrichtung (13) mit Luftunterstützung ausgeführt ist.

27. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 26, dadurch 60 gekennzeichnet, daß der Einspritzdruck zwischen zumindest zwei Druckniveaus in Abhängigkeit des Motorbetriebes variierbar ist, wobei die Einspritzung im Teillastbereich mit höherem Einspritzdruck als im Vollastbereich erfolgt.

28. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 27, dadurch 65 gekennzeichnet, daß ein Abgasrückführsystem zur inneren oder äußeren Abgasrückführung vorgesehen ist.

Fig. 1Fig. 2

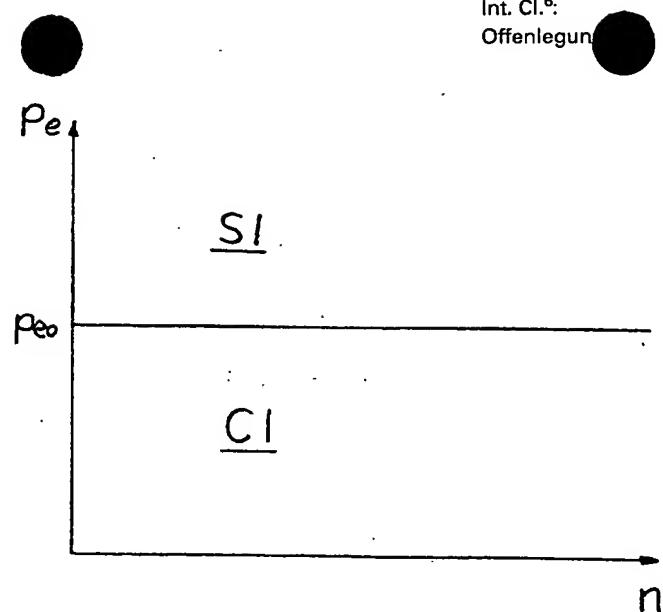


Fig. 3